



BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

Offenlegungsschrift
DE 43 41 787 A 1

08.12.1993
Int. Cl.⁸:
G 10 H 1/00
G 08 C 19/00

(21) Aktenzeichen: P 43 41 787.6
(22) Anmeldetag: 8. 12. 93
(43) Offenlegungstag: 17. 8. 95

DE 43 41 787 A 1

(71) Anmelder:
Kemper, Christoph, 45657 Recklinghausen, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) System zur zeitkorrekten Auslösung von Echtzeitaktionen durch Befehlssequenzen

(57) System zur zeitkorrekten Auslösung von Echtzeitaktionen durch Befehlssequenzen in einem Sender/Schnittstelle/Empfänger-Verbund, insbesondere die Auslösung von Tönen und anderen musikalischen Ereignissen bei einem elektronischen Kangerzeuger, welcher über die serielle MIDI-Schnittstelle von einem Sequenzer angesteuert wird, wobei die Befehle zum Auslösen der Aktionen im Sender/Sequenzer gespeichert sind und dieser die Befehle um genau definierte Zeiten vor dem Sollzeitpunkt der Aktion an den Empfänger/Kangerzeuger schickt, welcher wiederum die Auslösung der Aktion um genau diese Zeiten verzögert, wobei er die notwendigen Prozesse für die Aktionen innerhalb dieser Verzögerungszeiten abarbeitet; des weiteren erreicht der Sender durch dynamische Steuerung der Verzögerungszeiten eine optimale Ausnutzung der seriellen Schnittstelle, so daß unabhängig von der Auslastung und der Übertragungsrate der Schnittstelle und unabhängig von der Verarbeitungsgeschwindigkeit des Empfängers alle Aktionen exakt zu ihren Sollzeitpunkten ausgelöst werden.

DE 43 41 787 A 1

Beschreibung

Als Anfang der achtziger Jahre die Eckdaten für die MIDI-Schnittstelle festgelegt wurden, war die eigentliche Zielsetzung, Synthesizer untereinander kommunizieren zu lassen, das heißt, Daten von Tonhöhen und Anschlagsstärken der Noten, die auf einer Klaviatur gespielt werden, an einen Klangerzeuger zu übermitteln, um die Noten akustisch umzusetzen oder andere Aktionen auszulösen. Obwohl Musik eine Problemstellung ist, die aus ihrem Prinzip heraus eine vollständige parallele Verarbeitung durch die Schnittstelle und den Klangerzeuger verlangt, werden diese Komponenten aus wirtschaftlichen Gründen in den meisten Fällen seriell, verbunden mit einer entsprechenden Verarbeitungsgeschwindigkeit, in manchen Fällen auch teilweise parallel ausgeführt.

Die anfallende Datenmenge ist nicht sehr groß; es genügt damals in Hinblick auf die Datensicherheit und die Herstellungskosten eine serielle Schnittstelle mit einer relativ geringen Übertragungsrate von 31,25 kBaud. Im MIDI-Standard-Protokoll sind Befehle mit zwei oder drei Bytes Länge vorgesehen, wie beispielsweise die Note-On- und die Note-Off-Messages (Befehle zum An- und Ausschalten einer Note bzw. eines Oszillators im Klangerzeuger) oder die Program-Change- und die Control-Change-Messages (Befehle zum Wechseln der Klangprogramme und zum Auslösen weiterer musikalischer Aktionen wie Vibrato, Klangfarben- oder Lautstärkeänderungen). Die Übertragung des drei Bytes langen Befehlscodes einer Note-On-Message, den eine Klaviatur an einen Klangerzeuger sendet, wenn eine Taste angeschlagen wurde, dauert etwa 1 ms. Werden beim Spielen eines Akkords mehrere Tasten auf der Klaviatur gleichzeitig angeschlagen, so müssen die Befehle für die einzelnen Töne zwangsläufig nacheinander übertragen werden. Zur vollständigen Übertragung eines sechsstimmigen Akkords benötigt die Schnittstelle also ca. 6 ms, der letzte Befehl erreicht somit 5 ms später als der erste Befehl den Empfänger. Dies ist ein Zeitversatz ist für den Menschen normalerweise noch nicht wahrnehmbar. Im Livebetrieb treten deshalb kaum nennenswerte Timingprobleme auf, da der Klangerzeuger normalerweise nur von einem einzigen Musiker bedient wird, wobei sich die anfallende Datenmenge pro Zeitpunkt in engen Grenzen hält.

Der Einsatz von Computern, welche in Verbindung mit der entsprechenden Software als Sequenzer genutzt werden, ermöglichte später das Aufzeichnen und Speichern der von einer Klaviatur oder anderen Eingabegeräten gesendeten Daten zusammen mit den Zeitpunkten ihres Eintreffens und wiederum das automatische Abspielen dieser Daten an einen oder mehrere Klangerzeuger, welche die Befehle in Töne und andere Aktionen umwandeln. In Verbindung mit modernen digitalen Klangerzeugern, die auf diese Anwendung hin konzipiert wurden, lassen sich bis zu 16 verschiedene synthetisierte Instrumente über 16 adressierbare MIDI-Kanäle gleichzeitig in einem einzigen Klangerzeuger steuern und damit komplexe musikalische Arrangements realisieren.

In diesem bekannten System, bestehend aus Sequenzer (Sender), Schnittstelle (Übertragungsweg) und Klangerzeuger (Empfänger), müssen in der Praxis teilweise 30 und mehr Befehle auf verschiedenen MIDI-Kanälen, jedoch über den selben MIDI-Port für den selben Zeitpunkt übertragen werden, was wegen der seriellen Arbeitsweise der Schnittstelle prinzipiell nicht zu einem einzigen Zeitpunkt möglich ist. Es ergeben sich hieraus unterschiedlich lange Blöcke von Aktionsbefehlen, wobei der jeweils erste Befehl noch rechtzeitig seinen Empfänger erreicht. Der zweite Befehl wird jedoch schon durch den ersten um ca. 1 ms verzögert, da bei Auftreten von mehreren Befehlen für einen Zeitpunkt diese im Puffer der Schnittstelle zwischengespeichert und nacheinander ausgegeben werden. Sie treffen somit zu spät ein, und das je nach Blocklänge mit wechselnder Verzögerung, die nur schwer zu beeinflussen ist.

Der Klangerzeuger verfügt im allgemeinen über eine CPU, welche für den Empfang und die Auswertung der MIDI-Befehle, sowie für die Auslösung der Klänge und deren Veränderung über die Zeit nach vorprogrammierten Abfolgen zuständig ist; ferner führt sie spontane Veränderungen des bereits klingenden Tones nach Eingang entsprechender Control-Change-Befehle durch (s. o.). Aus dieser Struktur ergibt sich eine weitere Quelle ungewollter Zeitverzögerungen in dem bekannten System. Die CPU des Klangerzeugers muß nämlich nach Empfang beispielsweise eines Note-On-Befehls die Parameter für den zu erzeugenden Klang berechnen, bevor mit der eigentlichen Ausgabe des Klanges begonnen werden kann, was je nach Schnelligkeit des Prozessors und der Komplexität der Berechnungen Zeiten im Millisekundenbereich in Anspruch nimmt, bevor der Klang einschwingt.

Müssen durch den Prozessor in dieser Zeit bereits andere Klänge kontinuierlich ausgegeben werden, nimmt diese Zeit abermals zu, weil dem Prozessor immer weniger Rechenzeit zur Verfügung steht. In diesen ungünstigen Fällen, die in der Praxis beim Betrieb mit Sequenzern jedoch regelmäßig auftreten, wird die ungewollte Verzögerung der musikalischen Ereignisse für das menschliche Ohr in Form von rhythmischen Ungenauigkeiten deutlich vernehmbar.

Mit diesem bekannten System läßt sich deshalb nur in einem sehr begrenzten Umfang bei geringer Datenauslastung oder alternativ unter Benutzung mehrerer paralleler MIDI-Ports und entsprechend vielen, nur geringfügig ausgenutzten Klangerzeugern einigermaßen exakt und somit musikalisch arbeiten. Dieses ist für den Anwender eines solchen Systems eine unwirtschaftliche und unbefriedigende Situation. Selbst bei Einführung einer erheblich schnelleren Schnittstelle bliebe das Problem der Zeitverzögerungen innerhalb des Klangerzeugers bestehen, diese lassen sich in dem bekannten System ausschließlich durch kostenintensive Beschleunigung und/oder Parallelisierung der beteiligten Hardware im Klangerzeuger verkleinern, jedoch nicht vollständig eliminieren.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein System aufzuzeigen, welches eine zeitlich exakte Auslösung von Aktionen durch zuvor aufgezeichnete Befehle ermöglicht, unabhängig von der Übertragungsweise der Schnittstelle und den erforderlichen Rechenzeiten der Empfänger.

Diese Aufgabe wird ausgehend von einem System laut Oberbegriff des Hauptanspruchs durch dessen kennzeichnende Merkmale gelöst.

Die Erfindung beruht auf zwei Tatsachen:

1. Das Abspielen gespeicherter Aktionsbefehle per Sequenzer ist keine wirkliche Echtzeitanwendung wie z. B. das direkte Spielen eines Synthesizers über eine Tastatur, weil die Zeitachse im Speicher der Sequenzersoftware abstrahiert vorliegt und somit beliebig verfügbar ist. Der Sequenzer ist bezüglich dieser Daten somit ein nicht-kausales System. Dennoch werden in herkömmlichen Systemen diese Befehle wie Echtzeitbefehle behandelt, d. h. sie werden erst zum Sollzeitpunkt des auszulösenden Ereignisses an den Klangerzeuger übermittelt, welcher nur eine möglichst kurze Zeit zur Verarbeitung dieser Daten und zum Auslösen der Aktion in Anspruch nehmen darf.
2. Die MIDI-Schnittstelle ist nicht grundsätzlich überlastet, sondern nur zu den Zeitpunkten, an dem zwei oder mehr Ereignisse gleichzeitig übertragen und ausgelöst werden sollen. Im zeitlichen Mittel ist die Auslastung jedoch relativ gering. Des weiteren ist die Rechenkapazität der Prozessoren in den Klangerzeugern auf diese Belastungsspitzen hin dimensioniert, so daß dazwischen ein Großteil des Potentials ungenutzt bleiben muß.

Bei diesen Belastungsspitzen treten große Blöcke mit vielen Note-On-Befehlen und anderen Befehlen auf, die theoretisch unendlich schnell über die Schnittstelle übertragen und vom Klangerzeuger verarbeitet werden müßten. Zu anderen Zeitpunkten ist der Übertragungsweg jedoch frei, und der Klangerzeuger ist lediglich mit der kontinuierlichen Ausgabe von Klängen beschäftigt, wobei sein Prozessor nur zu einem geringen Prozentsatz und vor allem gleichmäßig belastet ist.

Die Erfindung löst diesen Konflikt, indem sie durch eine entsprechende zeitliche Vorverlegung der beteiligten Prozesse die Belastungsspitzen entzerrt und flexibel auf der Zeitachse verteilt, wobei die Information über den Zeitpunkt der Aktion jedoch nicht verloren geht.

Bei dem erfindungsgemäßen System wird jedem Aktionsbefehl eine definierte Zeitverzögerung zugewiesen. Um diese Zeitdauer früher startet der Sequenzer die Übertragung des Befehls und um dieselbe Zeitdauer verzögert der Empfänger die dazu gehörige Aktion, z. B. die Klanguisgabe. Hierbei dient der Beginn, das Ende oder ein anderer Punkt der Übertragung des Befehls dem Empfänger als absoluter Referenzzeitpunkt, wobei dieser Zeitpunkt plus die relative Zeitverzögerung den exakten Sollzeitpunkt für das Einsetzen des Klanges bzw. für das Auslösen der Aktion ergibt. Somit kompensieren sich die Vorverzögerung der Übermittlung und die Verzögerung der Aktion.

Die Zeit, die dem Prozessor des Empfängers zwischen dem Empfang eines Befehls und dem Auslösen der Aktion verbleibt, um die Prozesse zur Auswertung des Befehls und zur Vorbereitung der Aktion zu beenden, steigt damit von der geforderten kürzest möglichen Zeit auf die wesentlich längere Zeit, um die die Aktion verzögert werden soll. So können in diesem Modus ab einer bestimmten Mindestverzögerungszeit die Prozesse zur Klangdatenberechnung im Rahmen der gewählten Verzögerungszeit flexibel auf der Zeitachse verteilt werden. Die Mindestverzögerungszeit stellt die untere Grenze der verfügbaren Verzögerungszeiten dar und ergibt sich aus der maximalen Laufzeit dieser Prozesse im ungünstigsten Fall (worst case), welcher zum Beispiel auftritt, wenn der Empfänger die Anzahl von Noten empfängt, die seiner maximalen Polyphonie entspricht, oder ein Befehl eintrifft, während der Prozessor maximal mit der Ausgabe von Klängen belastet ist.

Das Ergebnis dieser Berechnung wird bis zum Verstreichen der Verzögerungszeit zwischengespeichert, dann erfolgt die eigentliche Auslösung der Aktion bzw. die Aufgabe des Klanges genau zum Sollzeitpunkt. Da die Prozesse nun flexibel gehandhabt werden können, werden kontinuierlich verfügbare Prozessorkapazitäten frei, welche beispielsweise für erhöhte Polyphonie im Sequenzerbetrieb genutzt werden können.

Eine Art der Realisierung des erfindungsgemäßen Systems sieht eine Funktion vor, womit eine pro MIDI-Kanal unterschiedliche Verzögerungszeit manuell am Klangerzeuger aktiviert und eingestellt wird, die dazu entgegengesetzten Vorverzögerungszeiten bei der Übertragung der Daten können bei bekannten Sequenzern in bekannter Weise durch entsprechendes Vorverzögern der betroffenen MIDI-Spuren bzw. MIDI-Kanäle justiert werden.

Benutzt der Anwender hierbei unterschiedliche Verzögerungszeiten, so werden die zeitkritischen Datenblöcke gesplittet und in einem großen Rahmen auf der Zeitachse verteilt, so daß sie sich nicht mehr beeinflussen.

Die manuelle Einstellung ist starr und sollte erst nach Fertigstellung der Spuren bzw. des Arrangements aktiviert werden, da keine Echtzeitsteuerung auf den betroffenen Kanälen möglich ist. Es sind jedoch schon in dieser Phase die genannten Timingvorteile unter Benutzung herkömmlicher, bekannter Sequenzersysteme erreichbar.

Eine Weiterbildung der Erfindung ermöglicht es, gleichzeitige Aktionen auf ein und dem selben Kanal, wie zum Beispiel die Töne von Akkorden, Clustern oder überlagerten Schlagzeugsounds als Akkorde zu identifizieren und diese Töne zeitgleich und zum korrekten Zeitpunkt wiederzugeben, obwohl alle Befehle hierzu in diesem Fall der selben kanalbezogenen Vorverzögerungszeit unterliegen:

Erhält ein Klangerzeuger mit aktivierter Verzögerung einen Note-On-Befehl, so wird er diesen nach Ablauf der Verzögerungszeit als Klang wiedergeben. Folgen diesem Befehl unmittelbar und ohne Unterbrechung weitere Note-On-Befehle auf dem selben MIDI-Kanal, so ist dieser Datenblock als Akkord zu identifizieren, dessen Töne alle zum selben Zeitpunkt wie der erste erklingen sollen. Der Prozessor hat nun den Rest der verbliebenen Verzögerungszeit Gelegenheit, für alle Töne des Akkords die benötigten Berechnungen anzustellen, um nach Ablauf der Zeit — gerechnet vom Eingang des ersten Note-On-Befehls — alle Töne zeitgleich einschwingen zu lassen.

Das erfindungsgemäße System sieht ferner das vollautomatische und dynamische Management der Verzögerungszeiten durch den Sender vor, welcher die sinnvollen Verzögerungszeiten anhand der zeitlichen Strukturen der auszulösenden Aktionen ermittelt und die Information über diese Verzögerungszeiten zusammen mit den

Aktionsbefehlen oder in einem gesonderten Befehl vor den betroffenen Aktionsbefehlen an den Empfänger übermittelt.

Im Falle des MIDI-Systems bietet sich hierzu die Definition eines neuen, noch nicht belegten kanalbezogenen Control-Change-Befehls im Rahmen des MIDI-Standard – Protokolls zur Übermittlung dieser Zeitinformation pro MIDI-Kanal an, wobei auch hier die oben genannte Methode zur Erkennung von Akkorden zum Einsatz kommen soll.

Der zulässige Wertebereich von 0–127 muß sinnvoll aufgeteilt werden und aus Kompatibilitätsgründen von allen beteiligten Herstellern einheitlich behandelt werden. Eine lineare Zuordnung auf 100–354 ms Verzögerung erscheint hier praktikabel. Die sich daraus ergebende Auflösung von 2 ms ist ausreichend; die nutzbare Zeit von 254 ms genügt für jede musikalische Anwendung. Die Mindestverzögerungszeit von 100 ms ist überdimensioniert, und erlaubt dem Empfänger deshalb eine großräumige Verteilung der Prozesse innerhalb der Verzögerungszeit, ermöglicht es weiterhin dem Anwender eine Identifikation von Übertragungsfehlern dieses Controllers, da sich in diesem Falle eindeutige Zeitfehler im musikalischen Bild ergeben. Der Wert 0 entspricht einer Desaktivierung der Funktion und ermöglicht auf diesem Kanal die herkömmliche Echtzeitsteuerung. Es besteht somit Aufwärtskompatibilität zu den bekannten Systemen.

Controller-Value	Zeitverzögerung
1	100 ms (Mindestzeitverzögerung)
2	102 ms
...	...
126	352 ms
127	354 ms (maximale Zeitverzögerung)
0	0 ms (Desaktivierung)

Dieser separate Verzögerungsbefehl gilt für alle ihm folgenden Aktionsbefehle des betreffenden Kanals, solange bis ein neuer Verzögerungsbefehl eintrifft. Das hat zur Folge, daß zum Beispiel die unmittelbar hintereinander übertragene Befehlsfolge

Verzögerungsbefehl	200 ms
Aktionsbefehl	#1
Verzögerungsbefehl	150 ms
Aktionsbefehl	#2

bewirkt, daß die Aktion #2 vor der Aktion #1 ausgelöst wird, obwohl die Übertragungsreihenfolge umgekehrt war.

Wie auch bei der manuellen Aktivierung der Verzögerungszeit ermöglicht das automatische Management im erfindungsgemäßen System ein gemischtes Betreiben von erfindungsgemäß zeitkorrigierten Empfängern und herkömmlichen, bekannten Empfängern an ein und dem selben MIDI-Port, adressiert über verschiedene MIDI-Kanäle. Der Benutzer hat zur Initialisierung des Systems lediglich anzugeben, welche Empfänger des Systems bzw. welche Kanäle zur Verarbeitung des Verzögerungsbefehls vorgesehen sind. Diese Funktion ließe sich auch durch einen automatischen Handshake realisieren, wobei der Empfänger dem Sender eventuell zusätzlich noch seine individuelle Mindestverzögerungszeit mitteilt. Erhält der Sender auf einem Kanal keine Rückmeldung, so muß er von einem herkömmlichen Empfänger ausgehen, welcher in Echtzeit zu steuern ist.

Wird eine Sequenz gestartet, so ist es möglich, daß Aktionen ausgelöst werden müssen, die weniger als die minimale Verzögerungszeit von dem Startpunkt entfernt liegen. Diese Befehle können somit nicht mehr vorverzögert ausgegeben werden und müssen deshalb im herkömmlichen Echtzeitmodus, d. h. bei deaktivierter Verzögerungsfunktion verarbeitet werden. Alle Aktionen, die weiter als die minimale Verzögerungszeit hinter dem Startpunkt liegen, werden im Verzögerungsmodus zeitkorrekt wiedergegeben. Aus diesem Grunde ist der Bediener dazu angehalten, die Sequenz mindestens um diese Mindestverzögerungszeit vor der ersten Aktion zu starten, was jedoch in der Praxis in den wenigsten Fällen zu Problemen führt.

Eine sinnvolle Arbeitsweise des automatischen Verzögerungszeiten-Managements seitens des Senders im erfindungsgemäßen System ist, die Aktionsbefehle so früh wie möglich an den Empfänger zu übermitteln, d. h. unter Verwendung einer möglichst großen Vorverzögerungszeit, wobei jedem Aktionsbefehl eine individuelle Verzögerungszeit zugeordnet wird, das entspricht im Falle des MIDI-Systems einem Verzögerungsbefehl vor jedem Aktionsbefehl, sofern dieser nicht zu einem Akkord gehört und die zuletzt geltende Verzögerungszeit nicht mehr verwendet wird. Die Vorverzögerungszeit darf jedoch immer nur so groß gewählt werden, daß nicht mehr als ein Befehl in den Puffer der Übertragungsstrecke gelangt, weil dann die Referenzzeitpunkte bei der Übermittlung der Befehle eingehalten werden.

Ein vereinfachter Algorithmus dazu sieht folgendermaßen aus:

1. Warte solange, bis keine Daten mehr übertragen werden und die Übertragungsstrecke frei ist.
2. Berechne die Zeitdifferenz zwischen dem aktuellen Zeitpunkt und dem Sollzeitpunkt der nächstfolgenden Aktion. Ist diese Zeitdifferenz größer als die maximal verfügbare Zeitverzögerung, dann warte solange, bis die Zeitdifferenz gleich der maximal verfügbaren Zeitverzögerung ist.
3. Ist diese Zeitdifferenz kleiner als die Mindestzeitverzögerung, so muß dieser Aktionsbefehl zum Sollzeit-

punkt der Aktion in Echtzeit, d. h. bei deaktivierter Verzögerungszeit übertragen werden. (Dieser Fall tritt nur auf, wenn der Sequenzer gerade gestartet wurde oder der Übertragungsweg seit geraumer Zeit ununterbrochen genutzt wurde.)

4. Ist die Zeitdifferenz innerhalb des verfügbaren Verzögerungsbereiches, so übertrage den Aktionsbefehl sofort zum aktuellen Zeitpunkt in Verbindung mit der Information über die Zeitverzögerung, die der in Punkt 1. ermittelten Zeiddifferenz entspricht.

5. Gehe zu Punkt 1.

Im erfindungsgemäßen System wird so jede Aktion unabhängig von der Zeitdauer der Übertragung der Befehle über die Schnittstelle und der Dauer der benötigten Prozesse im Empfänger zum korrekten Zeitpunkt ausgelöst; diese beiden Zeitparameter bestimmen einzig und allein die maximale Anzahl der Befehle, die innerhalb einer bestimmten Zeitperiode bei Einhaltung der Mindestverzögerungszeit grundsätzlich übertragen und verarbeitet werden können.

Die Erfindung wird im folgenden anhand schematischer Zeichnungen an Ausführungsbeispielen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt eine mögliche Verschaltungsvariante des erfindungsgemäßen Systems. Jeder der Empfänger/Klangerzeuger 1, 2 und 3 erhält dieselben Daten über den Übertragungsweg/die Schnittstelle 4 vom Sender/Sequenzer 5, in dem die Daten über die Aktionen gespeichert sind. Die Empfänger selektieren aus dem Datenstrom die für sie bestimmten Befehle nach den Kanälen aus und lösen die entsprechenden Aktionen aus.

Im Speicher des Sequenzers seien nun die folgenden Aktionen und ihre absoluten oder relativen Sollzeitpunkte gespeichert:

Aktion	A#1	auf Kanal	1	zum Zeitpunkt	$t=0$.
	A#2		2		$t=0$.
	A#3		3		$t=0$.
	A#4		4		$t=0$.
	A#5		4		$t=0$.
	A#6		4		$t=0$.
	A#7		5		$t=0$.
	A#8		2		$t=1$.
	A#9		4		$t=2$.

Die Kanäle 1, 2 und 3 sollen vom selben Empfänger 1 und durch den selben Prozessor verarbeitet werden, Empfänger 2 empfängt nur Kanal 4 und Empfänger 3 den Kanal 5. Das Beispiel Fig. 1 geht von einem gemischten Betrieb aus: Die Empfänger 1 und 2 seien für den Empfang von Verzögerungsbefehlen vorgesehen, Empfänger 3 sei ein bekannter, herkömmlicher Empfänger und somit nicht zum Verzögern von Aktionen fähig. Diese Umstände sind dem Sender bereits durch manuelle Initialisierung oder Handshake bekannt. Die Aktionen A # 1 bis A # 7 sollen zum selben Sollzeitpunkt $t=0$ stattfinden, die Aktionen A # 8 und A # 9 zu verschiedenen Zeitpunkten $t=1$ und $t=2$. Die Aktionen A # 4, A # 5 und A # 6 gehören dem selben Kanal und dem selben Sollzeitpunkt an und entsprechen deshalb einem Akkord. Der Referenzzeitpunkt für die Verzögerungszeiten bei jeweils das Ende der Übertragung eines Aktionsbefehl-Codes.

Fig. 2 zeigt für dieses Beispiel die Zeitpunkte der Befehlsübertragung und der Prozesse in den einzelnen Empfängern und letztlich die Istzeitpunkte der Aktionen im erfindungsgemäßen System bezüglich der Zeitachse t .

Entsprechend dem weiter oben genannten Algorithmus übermittelt der Sequenzer den Aktionsbefehl A # 1 auf dem Kanal 1 um die maximal verfügbare Zeit V_1 vor dem Sollzeitpunkt $t=0$ an den Empfänger, nachdem er diese Vorverzögerungszeit V_1 dem Empfänger durch einen entsprechenden Verzögerungsbefehl bekanntgegeben hat. Dieselbe Prozedur erfolgt mit den Aktionen A # 2, A # 3 und A # 4 auf den entsprechenden Kanälen 2, 3 und 4 mit den Verzögerungszeiten V_2 , V_3 und V_4 , wobei diese Zeiten kleiner sind als die maximal verfügbare Verzögerungszeit und somit auch kleiner sind als V_1 , weil diese Aktionsbefehle später übermittelt werden müssen, da sie sonst im Puffer der Schnittstelle ungewollt zwischengespeichert werden.

Im Sinne der Akkorderkennung werden die Aktionsbefehle A # 5 und A # 6 unmittelbar nach A # 4 übermittelt, wodurch diese beiden Befehle gemeinsam mit A # 4 der Verzögerungszeit V_4 zugeordnet sind, wobei der Referenzzeitpunkt bereits durch den Aktionsbefehl A # 4 festgelegt wurde. Der Befehl A # 8 und die dazugehörige Verzögerungszeit V_5 werden laut Algorithmus direkt nach dem Akkord übermittelt; trotz späterem Sollzeitpunkt $t=1$ kann die maximale Verzögerungszeit hier nicht mehr ausgenutzt werden. Danach erfolgt eine zwangsläufige Übertragungspause, bis A # 8 bei Verzögerungszeit V_6 (wieder maximale Verzögerungszeit) übermittelt wird. Der Aktionsbefehl A # 7 muß auf herkömmliche Weise zum Sollzeitpunkt an den Empfänger 3 übertragen werden, da hier kein Vorverzögern erlaubt ist.

Bei den Empfängern 1 und 2 wird nach Empfang eines Aktionsbefehls damit begonnen, die zuvor auf diesem Kanal empfangene Verzögerungszeit für diesen Befehl abzuzählen. Ist der Prozessor momentan verfügbar — wie z. B. bei Aktion A # 1 — so wird sofort der Prozeß P # 1 zur Auswertung des Aktionsbefehls und zur

Vorbereitung der Aktion gestartet und das Ergebnis für den Rest der ablaufenden Verzögerungszeit zwischen gespeichert. Ist der Prozessor momentan nicht verfügbar, wie z. B. bei Aktion A # 2 und A # 3, so wird gewartet, wobei die Verzögerungszeit jedoch schon abläuft. Der Prozeß P # 2 startet somit erst nach Beendigung von Prozeß P # 1. Durch die Definition der minimal verfügbaren Verzögerungszeit wird gewährleistet, daß jeder Prozeß noch vor dem Sollzeitpunkt abgearbeitet werden kann.

Erst nachdem der Empfänger 2 den Aktionsbefehl A # 4 empfangen hat und die Verzögerungszeit V4 gestartet hat, gehen die Aktionsbefehle A # 5 und A # 6 ein und werden im Sinne der Akkorderkennung ebenfalls der schon ablaufenden Verzögerungszeit A # 4 zugeordnet. Alle einmal laufenden Verzögerungszeiten — wie z. B. V5 V2 auf Kanal 2 — werden auch durch innerhalb dieser Zeit eintreffende Verzögerungsbefehle — wie z. B. V5 ebenfalls auf Kanal 2 — nicht mehr beeinflusst. Nach Ablauf der jeweiligen Verzögerungszeiten werden die entsprechenden Aktionen durch die Empfänger 1 und 2 zeitkorrekt, im Falle der Aktionen A # 1 bis A # 6 zeitgleich ausgelöst. Der herkömmliche Empfänger 3 kann die Aktion A # 7 nur verspätet auslösen, da diese durch den notwendigen Prozeß P7 verzögert wird.

Fig. 3 zeigt die Verarbeitung derselben Befehlskette im herkömmlichen, bekannten System; alle drei Empfänger seien nun von herkömmlicher Bauart. Hier werden die Aktionsbefehle seriell erst ab dem Sollzeitpunkt übertragen. Sie werden sofort in den Empfängern verarbeitet, sofern die Prozessoren frei sind und dann werden die Aktionen ausgelöst. Die Befehle für Empfänger 2 werden erst nach den Befehlen für Empfänger 1 ausgegeben und somit verzögert. Die serielle Abarbeitung der Befehle durch die Prozessoren verzögert die Aktionen um ein weiteres, und zwar abhängig von der Reihenfolge der Prozesse. Die Darstellung zeigt daß die Aktionen alle zu unterschiedlichen Zeitpunkten weit hinter dem Sollzeitpunkt ausgelöst werden, die Zeitpunkte hängen von der Reihenfolge der Befehle ab. Anders als im erfindungsgemäßen System (Fig. 2) wird hier der Aktionsbefehl A # 7 für den Empfänger 3 durch die Befehlsodes für die Empfänger 1 und 2 weiter nach hinten geschoben. Das zeigt andersherum, daß bei gemischtem Betrieb (Fig. 2) die herkömmlichen Empfänger in ihrem Timingverhalten nicht weiter negativ beeinflusst werden.

Patentansprüche

1. System zur Auslösung von Echtzeitaktionen durch Befehlssequenzen in einem Sender-Schnittstelle-Empfänger-Verbund, bei dem die Befehle zum Auslösen der Aktionen sowie die absoluten oder relativen Sollzeitpunkte dieser Aktionen dem Sender hinreichend vorher bekannt sind bzw. in ihm gespeichert sind, und dieser die Befehle über die Schnittstelle an den Empfänger übermittelt, welcher nach Auswertung der Befehle die entsprechenden Aktionen vollzieht, insbesondere die Auslösung von Tönen und anderen musikalischen Ereignissen bei einem elektronischen Klangerzeuger, welcher von einem im Klangerzeuger implementierten oder einem über eine Schnittstelle, insbesondere über die bekannte MIDI-Schnittstelle verbundenem Sequenzer angesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, daß ein zeitkorrektes Auslösen der Aktionen dadurch erreicht wird, indem der Sender alle oder einen Teil der Aktionsbefehle um genau definierte Zeiten vor den jeweiligen Sollzeitpunkten der Aktionen an den Empfänger übermittelt, welchem diese Zeiten bekannt sind und dieser wiederum die Aktionen um genau diese Zeiten später auslöst, als die Befehle dazu eingegangen sind; hierbei dient der Beginn, das Ende oder ein anderer definierter Zeitpunkt der Übertragung des Aktionsbefehls dem Empfänger als Referenzzeitpunkt, an dem er mit dem Abzählen der Verzögerungszeit beginnt, erst nach dem Ablauf dieser Zeit wird die Aktion ausgelöst.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Empfänger innerhalb dieser definierten Verzögerungszeit zwischen Eingang des Aktionsbefehls und der Aktion diejenigen Prozesse abarbeitet, die notwendig sind, um den Befehl auszuwerten und die Aktion vorzubereiten, welche alsdann nach Ablauf der Verzögerungszeit exakt zum Sollzeitpunkt gestartet wird, unabhängig davon, wieviel Zeit die Prozesse in Anspruch nehmen.

3. System nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine untere Grenze der verfügbaren Verzögerungszeit definiert ist, bei der sichergestellt ist, daß der Empfänger die Prozesse auch im ungünstigsten Fall innerhalb dieser Verzögerungszeit sicher beenden kann.

4. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei serieller Übertragungsweise und nicht vernachlässigbaren Befehlscode-Längen, insbesondere bei der seriellen MIDI-Schnittstelle, auf Seiten des Senders den Aktionsbefehlen geeignete unterschiedliche und individuelle Übertragungszeitpunkte vor dem jeweiligen Sollzeitpunkt der Aktion zugewiesen werden, so daß jeder Befehl nur dann an die Schnittstelle übergeben wird, wenn der Übertragungsweg frei ist, wodurch kein Befehl in der Schnittstelle zwischengespeichert wird und somit die Referenzzeitpunkte bei der Übertragung nicht verschoben werden.

5. System nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur dynamischen Steuerung der Verzögerungszeiten durch den Sequenzer die Information über die Länge der erforderliche Verzögerungszeit für diese Aktion gemeinsam mit den anderen benötigten Informationen für diese Aktion in einem Befehl an den Empfänger übertragen wird.

6. System nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur dynamischen Steuerung der Verzögerungszeiten durch den Sequenzer die Information über die Länge der erforderlichen Verzögerungszeit für eine Aktion oder gemeinsam für eine bestimmte Gruppe von Aktionen oder die Aktionen eines bestimmten von mehreren an diesen Übertragungsweg angeschlossenen Empfängern in einem separaten Befehl vor den betreffenden Aktionsbefehlen an den Empfänger übertragen wird, wobei diese Verzögerungszeit für alle folgenden Aktionsbefehle gilt, die der betroffenen Gruppe angehören, sofern nicht ein neuer Verzögerungsbefehl eingeht.

7. System nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere im MIDI-Verbund mittels eines im

Rahmen des MIDI-Standard-Protokolls definierten, kanalbezogenen Control-Change-Befehls die Länge der Verzögerungszeit für jeden der 16 MIDI-Kanäle individuell gesteuert wird.

8. System nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere im MIDI-Verbund eine statische Verzögerungszeit gemeinsam oder für jeden MIDI-Kanal getrennt manuell am Klangerzeuger aktiviert und eingestellt werden kann, wobei die entsprechenden gegensätzlichen Vorverzögerungszeiten bei den bekannten Sequenzern mittels einer bekannten Funktion zum zeitlichen Verschieben der Spuren bzw. der MIDI-Kanäle manuell eingestellt werden.

9. System nach Anspruch 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß bei serieller Übertragungsweise und nicht vernachlässigbaren Befehlscode-Längen, insbesondere bei der seriellen MIDI-Schnittstelle diejenigen Aktionsbefehle, die einer bestimmten Gruppe zugeordnet sind und somit immer der selben variablen Verzögerungszeit unterliegen, jedoch auch gleichzeitige Aktionen auslösen sollen, insbesondere Akkorde oder Kluster auf einem bestimmten MIDI-Kanal in einem MIDI-Verbund, unmittelbar hintereinander und ohne Unterbrechung an den Empfänger übermittelt werden, welcher wiederum den Referenzzeitpunkt des ersten Aktionsbefehl als Referenzzeitpunkt für diesen und alle ihm unmittelbar folgenden Aktionsbefehle annimmt, die der selben Gruppe, insbesondere dem selben MIDI-Kanal angehören, und nach Ablauf der Verzögerungszeit diese Aktionen zum gemeinsamen Sollzeitpunkt gleichzeitig auslöst.

10. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Modus der Verzögerung beim Empfänger über einen Befehl vom Sender für alle Befehle oder für eine bestimmte Gruppe von Befehlen deaktiviert werden kann, um eine Echtzeitsteuerung zu ermöglichen.

11. System nach Anspruch 5, 6, 7, 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwecks größtmöglicher Ausnutzung der potentiellen Übertragungsleistung der Schnittstelle der Sender für jeden Aktionsbefehl den frühest möglichen Übertragungszeitpunkt und die damit verbundene größtmögliche Verzögerungszeit für den Empfänger wählt; ist zu diesem Zeitpunkt die Schnittstelle jedoch noch mit der Übertragung anderer Befehle beschäftigt, so wird der Übertragungszeitpunkt so weit nach hinten geschoben und eine entsprechend kleinere Verzögerungszeit für den Empfänger gewählt, so daß jeder Befehl nur dann an die Schnittstelle übergeben wird, wenn der Übertragungsweg frei ist, wodurch kein Befehl in der Schnittstelle zwischengespeichert wird und somit die Referenzzeitpunkte bei der Übertragung nicht verschoben werden.

12. System nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Sender durch manuelle Initialisierung oder durch einen automatischen Handshake mit den angeschlossenen Empfängern die Information erhält, welcher Empfänger bzw. welcher Kanal grundsätzlich zur Verarbeitung des Verzögerungsbefehls geeignet ist.

13. System nach Anspruch 3 bis 12, gekennzeichnet dadurch, daß der Sender durch manuelle Initialisierung oder durch einen automatischen Handshake mit den angeschlossenen Empfängern eine Information darüber erhält, wie groß die minimal verfügbare Verzögerungszeit eines jeden Empfängers ist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

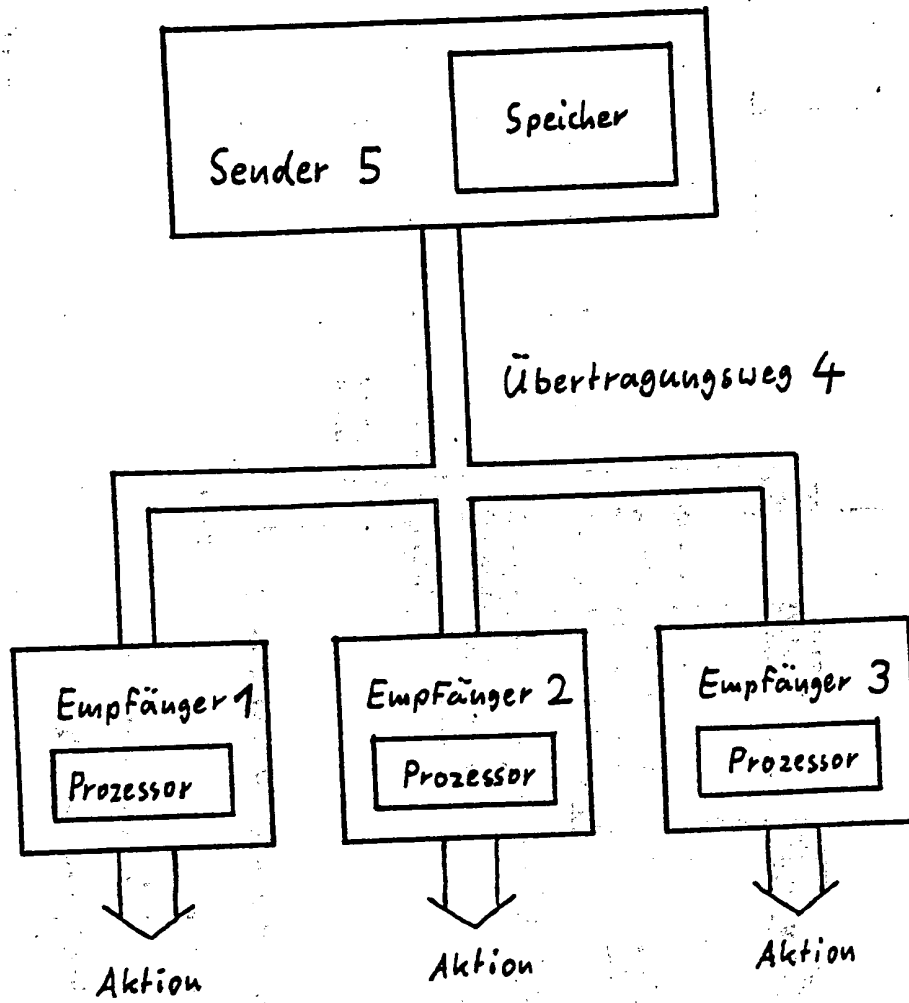


FIG 1

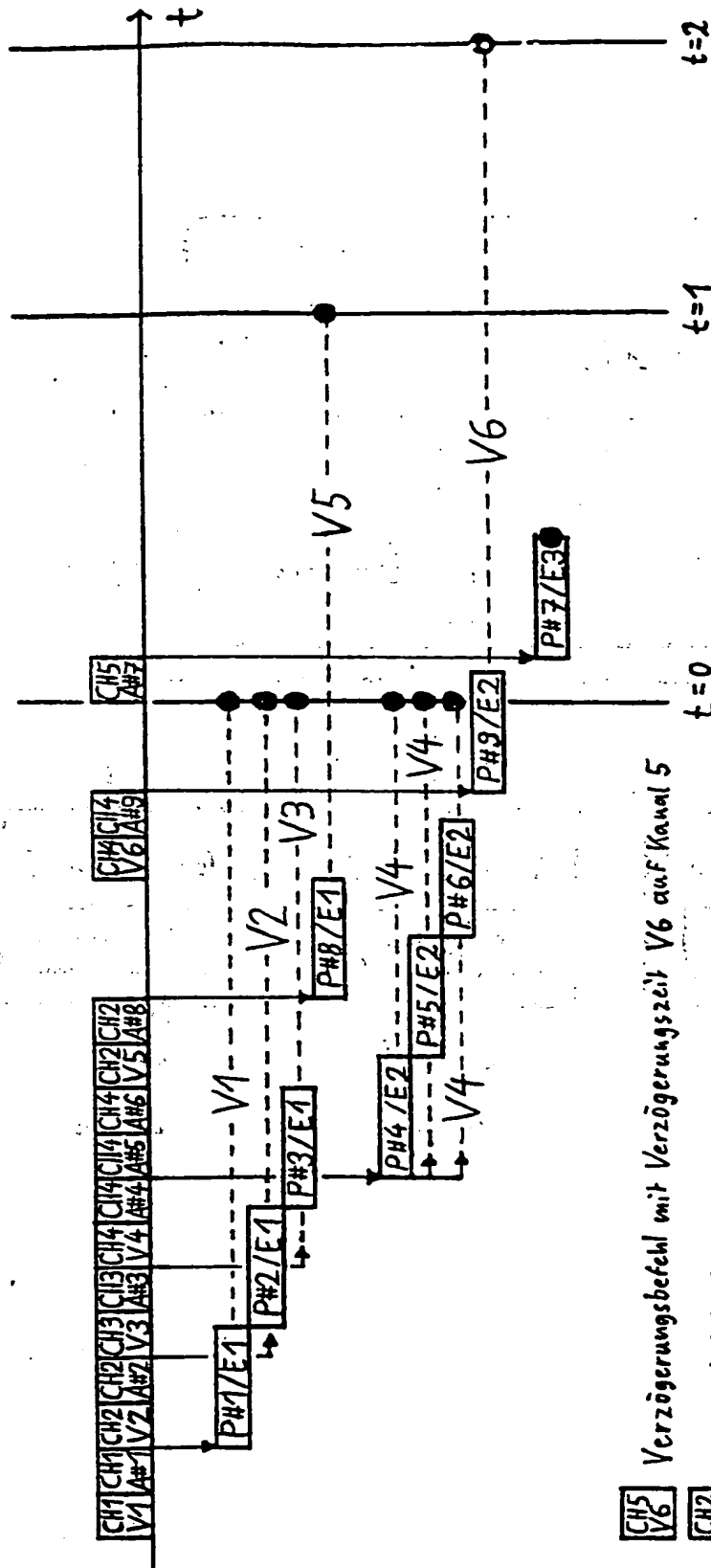


FIG 2

CH5 V6 Verzögerungsbefehl mit Verzögerungszeit V6 auf Kanal 5

CH2 A#5 Aktionsbefehl A#5 auf Kanal 2

P#3/E#1 Prozess für Aktion A#3 bei Empfänger 1

→ --- V2 --- ablaufende Verzögerungszeit V2

• Aktion

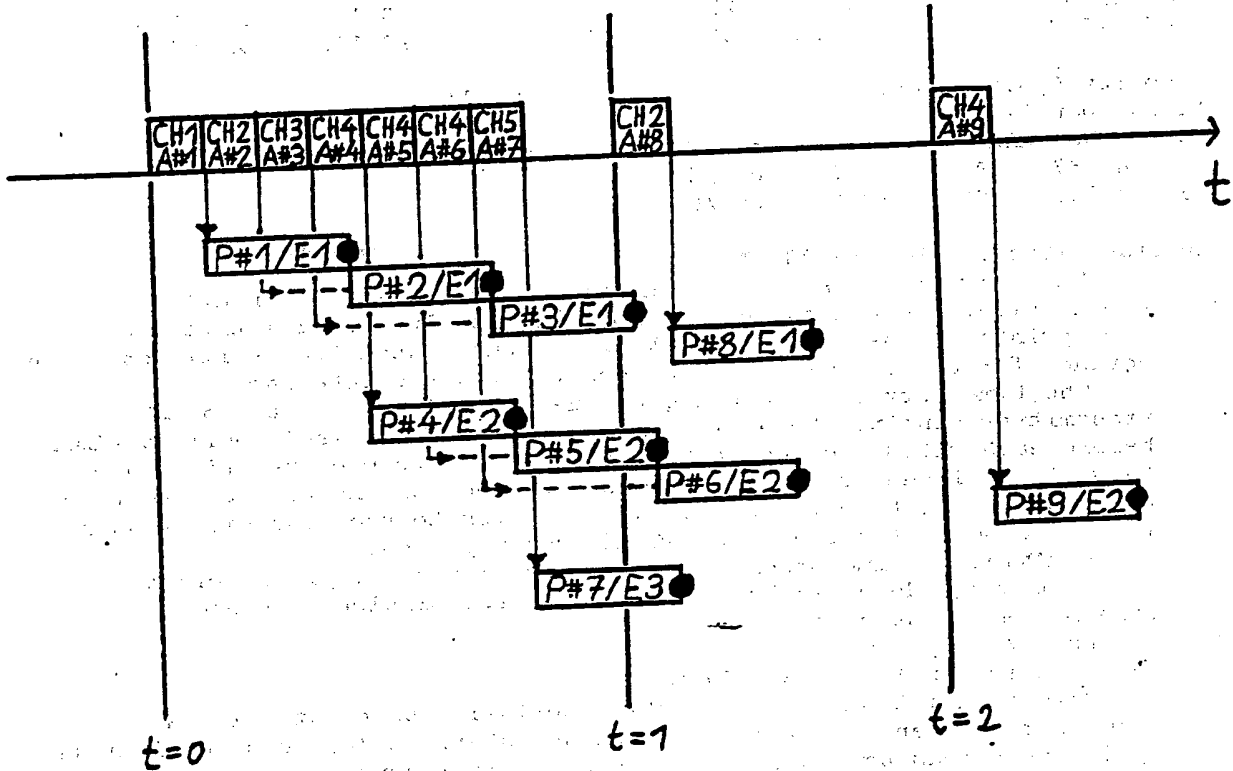


FIG 3

1/9/3

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI

(c) 2002 Thomson Derwent. All rts. reserv.

010382755 **Image available**

WPI Acc No: 1995-284069/ 199538

XRPX Acc No: N95-216264

Triggering real time actions by instruction sequence - achieves time correct triggering by transmitting action instructions at specified time points

Patent Assignee: KEMPER C (KEMP-I)

Inventor: KEMPER C

Number of Countries: 001 Number of Patents: 002

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
DE 4341787	A1	19950817	DE 4341787	A	19931208	199538 B
DE 4341787	C2	19951116	DE 4341787	A	19931208	199550

Priority Applications (No Type Date): DE 4341787 A 19931208

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
-----------	------	-----	----	----------	--------------

DE 4341787	A1	10	G10H-001/00		
------------	----	----	-------------	--	--

DE 4341787	C2	10	G10H-001/00		
------------	----	----	-------------	--	--

Abstract (Basic): DE 4341787 A

The triggering is carried out in a transceiver and interface combination. The action instructions and absolute or relative rated time prints of the actions are known to the transmitter sufficiently in advance for transmission to the receiver via the interface.

The time correct triggering of the actions is attained by the transmitter sending the action instructions at precisely defined times before each rated time point to the receiver, to whom the times are known for delayed triggering. The start, end, or another defined time point of the instruction transmission serves to the transmitter as a reference point for the start of the delay period.

ADVANTAGE - Time precision action triggering by pre-recorded instructions independently of interface transmission mode and transmitter counting time.

Dwg.1/3

Abstract (Equivalent): DE 4341787 C

This is a method of transmitting serially music data from a sequencer or transmitter (5) through an interface (4) to a receiver (1, 2, 3) for releasing musical actions or musical sounds.

The commands for the actions are stored with the required points in time in the sequences and are transmitted through the interface to the receiver. In order to avoid any displacement in the time of an action when there are several commands at the same time on the interface, these are transmitted with a certain time allowed before each of the required times. This allowance is also transmitted to the receiver and the action is released after the time allowed in each case.

USE/ADVANTAGE - Suitable for computerised music systems. Action is performed at exact point in time required according to previously recorded command independent of exact mode of transmission.

Dwg.1/3

Title Terms: TRIGGER; REAL; TIME; ACTION; INSTRUCTION; SEQUENCE; ACHIEVE; TIME; CORRECT; TRIGGER; TRANSMIT; ACTION; INSTRUCTION; SPECIFIED; TIME; POINT

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

Derwent Class: P86; W04

International Patent Class (Main): G10H-001/00

International Patent Class (Additional): G08C-019/00

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): W04-U03; W04-U04; W04-U04D; W04-U05

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)